酵母甘露寡糖对蒙古绵羊生长性能、血清免疫和炎症及抗氧化指标的影响

谢明欣　王海荣*　杨金丽　王桂超　李晶晶　李常瑞

(内蒙古农业大学动物科学学院，呼和浩特 010018)

摘　要:本试验旨在研究酵母甘露寡糖对蒙古绵羊生长性能、血清免疫和炎症及抗氧化指标的影响。选用体况良好、体重[（28.91±1.81） kg]相近的 18 只蒙古绵羊，随机分为 3 组（每组 6 只）对照饲喂基础饲粮，甘露寡糖组和瘤胃素组在对照组饲粮的基础上在精料中分别添加 0.1%酵母甘露寡糖和 0.015%的瘤胃素。试验期为 70 d，其中预试期 10 d，正试期 60 d。第 1~30 天，饲粮精粗比为 4:6，第 31~60 天饲粮精粗比逐步过渡到 7:3。于正试期第 1 天、第 30 天和第 60 天空腹称重并采集血清，检测血清免疫球蛋白 M（IgM）、脂多糖结合蛋白（LBP）、白细胞介素 6（IL-6）、血清淀粉样蛋白 A（SAA）和一氧化氮（NO）的浓度，以及总抗氧化能力（T-AOC）、总超氧化物歧化酶（T-SOD）和谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）活性。结果表明：1）与对照组相比，饲粮添加甘露寡糖和瘤胃素均能显著提高高精料饲养模式下蒙古绵羊的生长性能，表现为体重（第 60 天）、平均日增重显著增加（$P < 0.05$），料重比显著降低（$P < 0.05$），且甘露寡糖组在第 1~30 天的阶段日增重显著高于对照组和瘤胃素组（$P < 0.05$），第 31~60 天，瘤胃素组的阶段日增重显著高于对照组（$P < 0.05$）。2）第 30 天，甘露寡糖组绵羊血清中的 IgM 浓度、LBP 浓度和 T-SOD 活性显著高于对照组（$P < 0.05$）；第 60 天，与对照组相比，甘露寡糖组绵羊血清中 SAA 浓度显著升高（$P < 0.05$），血清 T-AOC 和 GSH-Px 活性显著降低（$P < 0.05$），瘤胃素组血清 T-AOC 也显著降低（$P < 0.05$）。综合得出，添加酵母甘露寡糖能改善饲喂高精料饲粮蒙古绵羊的生长性能、血清免疫功能和抗氧化能力，与添加瘤胃素有相似的效果，且在精粗比 4∶6 时效果较好。

关键词：酵母甘露寡糖；绵羊；生长性能；免疫；抗氧化

中国分类号：S816.7

随着人们对畜产品安全的高度重视，饲料安全作为畜产品安全的源头也越来越受关注，寻找安全可靠、无残留、无抗药性、不污染环境的绿色饲料添加剂成为当今饲料领域的研究热点。酵母多糖是广泛存在于酵母细胞壁中的碳水化合物，主要成分是葡聚糖和甘露寡糖[1-2]，具有增强免疫、抗病促生长、抗氧化、解毒等方面的生理功能[3-4]，还具有安全可靠、无残留、无抗药性、不污染环境等特点[5]。武晓红等[2]研究表明，基础饲粮中添加不同剂量的酵母多糖，均能够显著提高肉鸡体增重，降低料重比，且酵母多糖在 0.2%的添加量时效果最好。武威等[6]在肉鸡基础饲粮的基础上添加 50、75 mg/kg 甘露寡糖，均显著提高了肉鸡的采食量和体重。李玉欣[7]研究发现，酿酒酵母甘露寡糖具有减少动物肠道有害菌数量，提高

收稿日期：2017-06-19

基金项目：自治区科技创新引导奖励资金项目（20140608）;反刍动物新型复合微生态制剂的创制与应用

作者简介：谢明欣（1992—），女，辽宁鞍山人，硕士研究生，研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail： 405754286@qq.com

*通信作者：王海荣，副教授，E-mail： wanghairong97@163.com

生长性能，调节机体免疫机能的作用，在断奶仔猪饲料中添加毕赤酵母甘露寡糖可以提高仔猪断奶体重和初乳中的免疫球蛋白 G 浓度，改善母猪繁殖性能和健康状况。杨地坤[8]研究表明，添加酵母细胞壁中的甘露寡糖可以提高羔羊的生长速度。综合前人研究结果，酵母多糖的研究多集中在单胃动物上，能够提高单胃动物机体免疫力和生长性能，但在反刍动物上，因消化道结构的特殊性、瘤胃微生物的作用以及不同饲粮结构的影响，有关酵母多糖对反刍动物生长性能及免疫力的影响研究仍需要进一步验证。因此本试验旨在研究高精饲粮中添加酵母甘露寡糖对蒙古绵羊的生长性能、血清免疫和炎症及抗氧化指标的影响，探讨其取代抗生素添加剂的可能性，从而为其在反刍动物上的应用提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　试验动物分组与饲粮设计

试验选用体况良好、体重[（28.91±1.81） kg]相近的蒙古绵羊 18 只，随机分成 3 组（对照组、甘露寡糖组和瘤胃素组），每组 6 只。试验动物统一驱虫和免疫，单笼饲养。3 组绵羊饲喂相同基础饲粮，甘露寡糖组在精料中添加 0.1%的酵母甘露寡糖[购自奥特奇生物制品（中国）有限公司，纯度≥14%]，而瘤胃素组在精料中添加 0.015%的瘤胃素（蒙锐饲料科技有限公司馈赠，纯度为 20%），甘露寡糖和瘤胃素的添加方法均采用逐级混入精料中的方式进行添加。试验期 70 d，其中预试期 10 d，正试期 60 d。正试期前 30 天，饲粮精粗比为 4:6，后 30 天饲粮精粗比逐步过渡到 7:3。基础饲粮设计参照我国《肉羊饲养标准》（NY/T 816-2004）。粗料为混合牧草。精料组成及营养水平、混合牧草营养水平见表 1。营养水平检测参见张丽英[9]的方法，其中粗蛋白质（CP）含量采用凯氏定氮法测定（K9840 型自动凯氏定氮仪，济南海能仪器有限公司），中性洗涤纤维（NDF）含量采用范氏（Van Soest）洗涤纤维分析法测定，钙（Ca）含量采用高锰酸钾检测法测定，磷（P）含量采用钼黄比色法测定（UV-1780 紫外分光光度计，日本岛津）。试验动物每天于 08:00 和 18:00 分 2 次饲喂，自由采食、饮水。

表 1　精料组成及营养水平、混合牧草营养水平(风干基础)

Table 1　Composition and nutrient levels of the concentrate and nutrient levels of mixed forages （air-dry basis）　%

项目 Items	精料 Concentrate	混合牧草 Mixed forages
原料 Ingredients		
玉米 Corn	68.00	
豆粕 Soybean meal	28.00	
石粉 Limestone	1.00	
食盐 NaCl	1.00	
预混料 Premix1）	1.00	
小苏打 $NaHCO_3$	1.00	
合计 Total	100.00	
营养水平 Nutrient levels 2）		
代谢能 ME/（MJ/kg）	11.24	7.84

粗蛋白质 CP	17.44	10.40
中性洗涤纤维 NDF	9.30	56.90
钙 Ca	0.54	0.37
磷 P	0.36	0.18

1）预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：Ca 1.52 g，P 0.41g，Fe 25 mg，Zn 35 mg，Cu 9 mg，Co 0.1 mg，I 0.9 mg，Se 0.25 mg，Mn 19.5 mg，烟酸 nicotinic acid 60 mg，VE 15 IU，VA 3 000 IU，VD_3 1 000 IU。

2）代谢能为计算值（参考 NY/T 816-2004 中的《中国羊常用饲料成分及营养价值表》的原料能值计算配方代谢能），其余营养水平为实测值。ME was a calculated value (refer to energy values in ingredients in *Feed Composition and Nutritive Values Table of Sheep* in NY/T 816-2004 to calculate ME of the formula), while other nutrient levels were measured values.

1.2 样品采集与指标检测

1.2.1 生长性能的测定

正试期每天记录单只试验羊采食量，分别在试验正试期的第 1 天、第 30 天、第 60 天空腹称重,计算平均日采食量（ADFI）、阶段日采食量（SDFI）、阶段日增重（SDG）、平均日增重（ADG）及料重比（F/G）。计算公式如下：

平均日采食量=总采食量/试验总天数；

阶段日采食量=阶段采食量/试验阶段天数；

平均日增重=总增重/试验天数；

阶段日增重=试验阶段期间总增重/试验阶段天数；

料重比=平均日采食量/平均日增重。

1.2.2 血清指标的测定

试验分别于正试期的第 1 天、第 30 天、第 60 天对空腹绵羊进行颈静脉采血并制备血清，-80 ℃保存。采用免疫球蛋白 M（IgM）抗体结合法检测 IgM 浓度；生物素双抗体夹心酶联免疫吸附试验（ELISA）法检测脂多糖结合蛋白（LBP）、白细胞介素 6（IL-6）、血清淀粉样蛋白 A（SAA）浓度；Fe^{3+}还原法检测总抗氧化能力（T-AOC）；硝酸盐显色剂比色法检测一氧化氮（NO）浓度；黄嘌呤氧化法检测总超氧化物歧化酶（T-SOD）活性；还原型谷胱甘肽（GSH）消耗法检测谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）活性。上述指标均采用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒进行测定，所用仪器为紫外分光光度计（UV-1780，日本岛津）和酶标仪（SYNERGY H11，美国 BioTek）。

1.3 数据统计分析

试验数据采用 Excel 2007 进行计算和整理，利用 SAS 9.0 中 ANOVA 进行显著性分析，Duncan 法进行多重比较，$P<0.05$ 表示差异显著，结果用平均值±标准差表示。

2 结 果

2.1 饲粮中添加酵母甘露寡糖对绵羊生长性能的影响

由表 2 可知，试验第 1 天各组绵羊体重差异不显著（$P > 0.05$）；第 30 天，甘露寡糖组绵羊的体重显著高于对照组（$P < 0.05$），而与瘤胃素组绵羊的体重差异不显著（$P > 0.05$）；第 60 天，甘露寡糖组和瘤胃素组试验羊的体重均比对照组显著升高 10%以上，差异显著（$P < 0.05$），且甘露寡糖组和瘤胃素组之间的绵羊体重差异不显著（$P > 0.05$）。

第 1~30 天，甘露寡糖组的阶段日增重显著高于对照组和瘤胃素组（$P < 0.05$），且瘤胃素组和对照组之间差异不显著（$P > 0.05$）；第 31~60 天，瘤胃素组阶段日增重显著高于对照组（$P > 0.05$）；第 1~60 天，甘露寡糖组和瘤胃素组绵羊的平均日增重显著高于对照组（$P < 0.05$），这 2 组之间差异不显著（$P > 0.05$），甘露寡糖组和瘤胃素组分别比对照组提高 31.25%和 37.50%。

各组绵羊的阶段日采食量、平均日采食量均无显著差异（$P > 0.05$）；但仅从数据比较来看，甘露寡糖组和瘤胃素组的平均日采食量分别比对照组提高 9.50%、8.11%；甘露寡糖组和瘤胃素组料重比显著低于对照组（$P < 0.05$），而甘露寡糖组和瘤胃素组之间的料重比无显著差异（$P > 0.05$）。

表 2　饲粮中添加酵母甘露寡糖对绵羊体生长性能的影响

Table 2　Effects of dietary supplementation of yeast mannan oligosaccharides on growth performance of sheep

项目 Items	时间 Time	组别 Groups			*P* 值 *P*-value
		对照 Control	甘露寡糖 Yeast mannan oligosaccharides	瘤胃素 Rumensin	
体重 BW/kg	第 1 天 The 1st day	28.87±2.13	28.85±1.98	29.01±1.77	0.989 9
	第 30 天 The 30th day	32.43±2.22^{b}	35.25±1.70^{a}	34.58±1.39^{ab}	0.076 0
	第 60 天 The 60th day	37.95±1.72^{b}	41.80±2.19^{a}	41.75±1.05^{a}	0.021 7
阶段日增重 SDG/[kg/(d·只)]	第 1~30 天 The 1st to 30th day	0.17±0.03^{b}	0.23±0.03^{a}	0.17±0.02^{b}	0.017 2
	第 31~60 天 The 31st to 60th day	0.16±0.01^{b}	0.22±0.05^{ab}	0.26±0.03^{a}	0.019 5
平均日增重 ADG/[kg/(d·只)]	第 1~60 天 The 1st to 60th day	0.16±0.01^{b}	0.21±0.02^{a}	0.22±0.01^{a}	0.001 7
阶段日采食量 SDFI/[kg/(d·只)]	第 1~30 天 The 1st to 30th day	1.41±0.16	1.51±0.13	1.51±0.11	0.419 7
	第 31~60 天 The 31st to 60th day	1.54±0.26	1.73±0.16	1.70±0.10	0.251 1
平均日采食量 ADFI/[kg/(d·只)]	第 1~60 天 The 1st to 60th day	1.48±0.21	1.62±0.14	1.60±0.10	0.296 8
料重比 F/G	第 1~60 天 The 1st to 60th day	9.15±1.27^{a}	7.76±0.67^{b}	7.15±0.45^{b}	0.007 9

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著（P>0.05），不同字母表示差异显著（P<0.05）。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while different letter superscripts mean significant difference (P<0.05).The same as below.

2.2　饲粮中添加酵母甘露寡糖对绵羊血清中免疫和炎症指标的影响

由表 3 可知，第 30 天，3 组绵羊血清中 SAA 的浓度差异均不显著（$P > 0.05$）；甘露寡糖组血清中 IgM、LBP 浓度显著高于对照组（$P < 0.05$），而其他各组间组差异不显著（$P > 0.05$）。第 60 天，甘露寡糖组和瘤胃素组绵羊血清中 SAA 浓度均显著高于对照组（$P < 0.05$），甘露寡糖组和瘤胃素组间差异不显著（$P > 0.05$）；各组绵羊血清中的 LBP 和 IgM 浓度差异均不显著（$P > 0.05$）。第 30 天和第 60 天，瘤胃素组绵羊血清中 IL-6 浓度均显著高于对照组（$P<0.05$），而甘露寡糖组绵羊血清中的 IL-6 浓度与对照组和瘤胃素组差异不显著（$P>0.05$）。

表 3　饲粮中添加酵母甘露寡糖对绵羊血清免疫和炎症指标的影响

Table 3　Effects of dietary supplementation of yeast mannan oligosaccharides on serum immune and inflammatory indicators of sheep

项目 Items	时间 Time	组别 Groups			*P* 值 *P*-value
		对照 Control	甘露寡糖 Yeast mannan oligosaccharides	瘤胃素 Rumensin	
免疫球蛋白 M IgM/(g/L)	第 1 天 The 1st day		0.029±0.006		
	第 30 天 The 30th day	0.036±0.003[b]	0.046±0.006[a]	0.041±0.009[ab]	0.085 0
	第 60 天 The 60th day	0.040±0.005	0.042±0.006	0.035±0.010	0.375 7
脂多糖结合蛋白 LBP/(μg/mL)	第 1 天 The 1st day		22.93±1.20		
	第 30 天 The 30th day	17.94±4.50[b]	28.13±6.18[a]	19.04±4.77[ab]	0.054 4
	第 60 天 The 60th day	16.97±2.91	23.77±5.00	18.70±5.63	0.205 1
白细胞介素 6 IL-6/(ng/mL)	第 1 天 The 1st day		213.93±44.38		
	第 30 天 The 30th day	146.95±43.73[b]	194.20±31.01[ab]	230.43±31.41[a]	0.029 0
	第 60 天 The 60th day	120.97±11.27[b]	166.18±40.56[ab]	220.65±35.95[a]	0.013 8
血清淀粉样蛋白 A SAA/(μg/mL)	第 1 天 The 1st day		9.08±0.32		
	第 30 天 The 30th day	8.85±3.26	12.17±0.92	11.25±1.88	0.132 7
	第 60 天 The 60th day	8.92±1.72[b]	13.78±1.21[a]	11.60±2.03[a]	0.008 7

2.3　饲粮中添加酵母甘露寡糖对绵羊血清抗氧化指标的影响

由表 4 可知，第 30 天，3 组绵羊血清中 NO 浓度、T-AOC 和 GSH-Px 活性均无显著差异（$P > 0.05$）；甘露寡糖组和瘤胃素组绵羊血清中 T-SOD 的活性显著高于对照组（$P < 0.05$），而这 2 组间差异不显著（$P > 0.05$）。第 60 天，3 组血清中的 NO 浓度、T-SOD 活性均差异不显著（$P > 0.05$）；3 组绵羊血清中 T-AOC 甘露寡糖组 < 瘤胃素组 < 对照组，组间差异显著（$P < 0.05$）；甘露寡糖组绵羊血清中 GSH-Px 活性显著低于对照组（$P < 0.05$），而与瘤胃素组差异不显著（$P > 0.05$）。

表 4　饲粮中添加酵母多糖对绵羊血清抗氧化指标的影响

Table 4　Effects of dietary supplementation of yeast mannan oligosaccharides on serum antioxidant indicators of sheep

项目 Items	时间 Time	组别 Groups			*P* 值 *P*-value
		对照 Control	甘露寡糖 Yeast mannan oligosaccharides	瘤胃素 Rumensin	

总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	第 1 天 The 1st day		3.92±0.28		
	第 30 天 The 30th day	4.27±0.30	4.39±0.37	3.90±0.50	0.164 8
	第 60 天 The 60th day	4.27±0.19[a]	2.96±0.40[c]	3.85±0.24[b]	<0.000 1
一氧化氮 NO/(μmol/L)	第 1 天 The 1st day		1.44±0.48		
	第 30 天 The 30th day	1.83±0.23	2.27±0.86	2.22±0.36	0.496 3
	第 60 天 The 60th day	1.94±0.38	1.82±0.65	1.65±0.36	0.656 1
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mL)	第 1 天 The 1st day		84.86±3.99		
	第 30 天 The 30th day	86.69±2.03[b]	95.65±2.84[a]	93.55±3.28[a]	0.001 8
	第 60 天 The 60th day	95.33±0.74	93.63±1.56	96.17±3.49	0.323 7
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	第 1 天 The 1st day		268.38±34.08		
	第 30 天 The 30th day	231.49±51.34	212.70±32.31	205.30±31.31	0.585 9
	第 60 天 The 60th day	285.00±29.32[a]	194.27±49.91[b]	218.27±54.95[ab]	0.042 2

3 讨 论

3.1 酵母甘露寡糖对绵羊生长性能的影响

酵母多糖可调节肠道微生物区系，促进有益菌的增殖，结合病原微生物，形成肠道内合适的微生物区系，从而提高动物的生长性能[10]。大量试验证明，在仔猪饲料中添加酵母壁多糖，能显著提高仔猪的平均日增重和平均日采食量，有降低料重比的趋势，显著提高断奶仔猪空肠绒毛高度/隐窝深度，改善小肠黏膜形态结构[11-12]。肉仔鸡饲粮中添加酵母多糖，提高了肉仔鸡的平均日增重，降低了料重比[13]。Ma 等[14]试验证明，饲粮中添加 75 mg 的酵母β-葡聚糖能够提高荷斯坦犊牛的平均日增重和饲料利用率，还显著提高了肠隐窝中的绒毛高度。瘤胃素是少数可在反刍动物饲粮中使用的抗生素类添加剂，能减少蛋白质在瘤胃的降解，提高过瘤胃蛋白质的数量、能量利用率、增重和饲料转化率[15]。本试验结果表明，与对照组相比，精料中添加 0.1%酵母甘露寡糖和 0.015%瘤胃素均能够显著提高蒙古绵羊的平均日采食量，显著提高其体重（第 60 天）、平均日增重，显著降低料重比。且本试验中甘露寡糖组绵羊在第 1~30 天增重速度较快，瘤胃素组的绵羊第 31~60 天间增重效果较好，但综合 60 d 全期数据来看，2 组的增重情况并无显著性差异，表明 2 种添加剂均提高了试验绵羊的采食量，从而促进了动物的生长，且酵母甘露寡糖在 4:6 精粗比饲粮条件下促生长效果较好，而瘤胃素需要饲喂更长时间才能达到酵母甘露寡糖相似效果。

3.2 酵母甘露寡糖对绵羊血清免疫和炎症指标的影响

血清中 IgM、LBP、IL-6、SAA 是动物机体免疫和抗炎反应的重要指标。IgM 是一级免疫应答中所产生的主要免疫球蛋白，具有抗菌、抗病毒、抗毒素等免疫学活性。金亚东等[16]通过在奶牛开食料中添加 2.5 g /kg 甘露寡糖，证明甘露寡糖可以显著提高 21 和 56 日龄时牛血清中的 IgM 浓度。肖宇[17]研究表明，在精粗比为 3:7 的山羊饲粮中添加 1%的甘露寡糖，可以极显著提高第 7 天、第 14 天血清中 IgM 的浓度（分别提高 37.13%、32.21%），但对血清 IL-6 的浓度没有影响。何振富等[18]研究表明，饲粮中添加 0.5%的瘤胃素具有提高肉牛血

液中 IgM 浓度的趋势。本试验中第 30 天时，甘露寡糖组绵羊血清中 IgM 浓度显著高于对照组，这与前人的研究结果一致，而在第 60 天时，甘露寡糖组和瘤胃素组的 IgM 浓度与对照组均无显著差异。说明甘露寡糖在精粗比为 4:6 的饲粮中对机体免疫的调节能力更强。

LBP 与脂多糖（LPS）结合并作用于细胞膜上的受体,通过胞内信号转导过程使靶细胞活化并释放炎症前细胞因子和免疫调节因子(如 IL-1、IL-6、IL-8 等)[19]。舒旷怡等[20]研究表明，当使用高浓度（1 000 ng/mL）LBP、10 ng/mL LPS 与巨噬细胞混合培养时单核巨噬细胞分泌的炎性细胞因子浓度下降，证明了 LBP 在高浓度时的负性调节效应,即 LPB-LPS 复合物除了与膜上 CD14 结合,还可能与体内的一些其他蛋白质结合,促进了 LPS 的灭活。靳露[21]研究发现，肉牛采食高精料饲粮，提高了肉牛血液和粪中 LPS 浓度。常广军[22]研究证明，长期饲喂山羊高精料（6:4）饲粮，导致山羊发生亚急性瘤胃酸中毒（SARA），提高 LPS 在肝脏的蓄积、外周血液中促炎细胞因子和急性期蛋白浓度。本试验结果中，与第 1 天相比，第 30 天时甘露寡糖组血清中 LBP 浓度上升，而血清 IL-6 浓度下降，与舒旷怡等[20]研究结果一致；试验 60 天时，各组间的血清 LBP 浓度无显著差异，推测高精料条件下 2 种添加剂可能通过其他途径来帮助机体缓解 LPS 的应激，尚未见相关研究报道，有待进一步研究。

IL-6 是白细胞介素家族中功能比较复杂的一种多效性前炎症细胞因子，既可以促进 T、B 细胞活化，又可刺激肝细胞产生急性期蛋白，能够有效地促进动物感染和免疫应答反应时合成和分泌肿瘤坏死α（TNF-α）、白细胞介素 1β（IL-1β）和白细胞介素 10（IL-10）等炎症细胞因子，是急性期炎症反应的重要效应分子[23]。有研究表明，酵母细胞壁里的酵母多糖具有免疫调节作用，能够促进炎症细胞因子 TNF-α、IL-6 的释放[24]；而肖宇[17]向山羊饲粮中添加 1%甘露寡糖，发现山羊血清中 IL-6 浓度无显著变化。本试验中第 30 天和 60 天时，甘露寡糖组的血清 IL-6 浓度与对照组、瘤胃素组相比差异不显著，该结果与肖宇[17]研究结果一致。

SAA 是一种高度特异急性时相蛋白，具有较高的灵敏性和特异性，能在炎性反应大约 8 h 后开始升高，在炎症得到控制时，刺激因素消退后，迅速下降[25]。SAA 主要来源于肝脏，随血液循环至机体各个位置[26]。Che 等[27]通过试验证明，在猪饲料中添加甘露寡糖能够显著提高血液中的免疫炎症指标的浓度，对促进先天免疫和细胞免疫介质起到重要作用，甘露寡糖能够提高猪体内的急性期蛋白（包括肝素蛋白和 SAA）。本试验中，第 30 天时各试验组动物血清中的 SAA 浓度都没有显著变化，第 60 天时甘露寡糖组和瘤胃素组的血清 SAA 浓度显著高于对照组，其升高可能帮助机体快速清除 LPS。

3.3　酵母甘露寡糖对绵羊血清抗氧化指标的影响

动物生长过程中体内都存在自由基，自由基在健康的动物体内产生、利用、清除都处于一种动态平衡状态，当机体受到自身或外在因素影响后，机体内的平衡会被打破，导致机体发生氧化应激[28]。NO 是机体内氧化应激的标志物，动物机体内还同时存在 2 种抗氧化系统：一种是如 SOD、GSH-Px 等酶抗氧化系统；另一种是非酶系统，如维生素 C、维生素 E、微

量元素锌和硒等。2 个抗氧化系统共同维持机体内氧化还原的动态平衡[29]。本试验选择研究血清中的 T-AOC、NO 浓度及 T-SOD 和 GSH-Px 的活性来反映酵母甘露寡糖对蒙古绵羊机体的抗氧化能力的影响。

郑琛等[30]研究证明，外源甘露寡糖可以提高绵羊机体的抗氧化性能，在 4:6 精粗比的绵羊饲粮添加甘露寡糖，显著提高了绵羊血清中 GSH-Px、T-SOD 活性及 T-AOC，但对血清 NO 浓度没有显著影响。肖宇[17]研究发现，在精粗比为 3:7 的山羊饲粮中添加 1%的甘露寡糖，在试验第 14 天、第 28 天对山羊血液中的 T-SOD 和 GSH-Px 活性无显著影响。本试验中第 30 天时，甘露寡糖组绵羊血清中 NO 浓度没有显著变化而 T-SOD 活性显著高于对照组，与郑琛等[30]研究结果一致，但血清中 T-AOC 和 GSH-Px 活性没有显著变化则与肖宇[17]研究结果一致。刘立成等[31]研究发现，在 4:6 的精粗比的绵羊饲粮中添加 25 mg/kg 的瘤胃素，并没有显著提高试验绵羊血液中的超氧化物歧化酶（SOD）浓度，而本试验中第 30 天时瘤胃素组羔羊血清中 T-SOD 活性显著高于对照组。本试验中第 60 天时甘露寡糖组绵羊血清中 T-AOC 和 GSH-Px 活性显著降低，瘤胃素组 T-AOC 也显著下降。这与前人在低精料饲粮中添加甘露寡糖的研究结果不同，其原因可能是添加甘露寡糖等添加剂提高了机体免疫能力，进而使机体对 LPS 反应更迅速能够快速清除，由此导致机体氧化应激水平升高，但详细机制有待进一步研究。本试验中甘露寡糖在精粗比为4:6的饲粮条件下显示出较好的调节作用，但在 7:3 的条件下甘露寡糖的添加剂量以及作用效果仍需要继续研究。

4　结　论

①精料中添加 0.1%酵母甘露寡糖显著提高了高精料饲粮条件下蒙古绵羊的生长性能，与添加瘤胃素组达到相似的效果。

②饲粮精粗比为 4:6 时，在精料中添加 0.1%的酵母甘露寡糖改善了绵羊血清中免疫功能和抗氧化能力。

参考文献:

[1] 陶亮亮,寇庆,梁咪娟.酵母多糖对养殖动物的营养和保健作用研究进展[J].江西饲料,2012,125 (1):13-16..

[2] 武晓红,王生滨,张春杰.不同酵母多糖水平对肉鸡生产性能的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2016 (16): 169-171.

[3] 周祥,张双双,李莉,等.酵母多糖的生理功能及其在动物饲养中的应用研究进展[J].粮食与饲料工业, 2013 (10):50-52.

[4] TANG Q L,HUANG G L,ZHAO F Y,et al.The antioxidant activities of six (1→3)-β-*D*-glucan derivatives prepared[J].International Journal of Biological Macromolecules,2017,98:216-221.

[5] 刘辉,季海峰,王四新,等.益生菌对生长猪生长性能、粪便微生物数量、养分表观消化率和血清免疫指标的影响[J].动物营养学报,2015,27(3):829-837.

[6] 武威,郑云朵,贾丽楠,等.甘露寡糖对肉仔鸡早期生长性能及相关理化指标的影响[J].中国

家禽,2017,39(1):34-37.
[7] 李玉欣.毕赤酵母甘露寡糖对猪生产性能和免疫性能的影响[D].博士学位论文.北京:中国农业大学,2015.
[8] 杨地坤.不同培育方案对西农萨能羊羔羊生长发育及血液生化指标的影响[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2015.
[9] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].3 版.北京:中国农业大学出版社,2007:52-147
[10] 林伯全,杨慧,王恬.酵母细胞壁和益生素对蛋鸡生产性能及免疫功能的影响[J].动物营养学报,2014,26(5):207-212.
[11] 贺琴,王自蕊,游金明,等.酵母壁多糖对断奶仔猪生长性能和小肠黏膜形态结构的影响[J].动物营养学报,2016(11):3536-3541.
[12] SUN Y,PARK I,GUO J.et al.Impacts of low level aflatoxin in feed and the use of modified yeast cell wall extract on growth and health of nursery pigs[J].Animal Nutrition,2015,1:177-183.
[13] 王辉田,孙超,陈思,等.酵母细胞壁多糖对肉仔鸡生长性能及免疫力的影响[J].中国饲料,2013(13):11-14.
[14] MA T,TU Y,ZHANG N F,et al.Effects of dietary yeast β-glucan on nutrient digestibility and serum profiles in pre-ruminant Holstein calves[J].Journal of Integrative Agriculture,2015,14(4):749-757.
[15] EHSAN A,BAHRAM D N,MOHAMMAD V K.A comparative study on the efficacy of Garlicon and monensin supplementation on blood metabolites and performance of fattening lambs[J].Livestock Science,2017,199:74-78.
[16] 金亚东,张力莉,陈绍淑,等.甘露寡糖添加方式对哺乳期犊牛生长性能、粪便菌群及血清免疫指标的影响[J].中国畜牧兽医,2016,43(11):2922-2930.
[17] 肖宇.功能性寡糖对山羊瘤胃发酵参数及血清生化和免疫指标的影响[D].硕士学位论文.青岛:青岛农业大学, 2012.
[18] 何振富,董俊,郝怀志,等.不同饲料添加剂对舍饲肉牛血清生化指标、免疫功能及生长激素的影响[J].中国饲料, 2016 (18):24-28.
[19] 杨一新,李桂源.LPS 所介导的信号转导通路研究进展[J].中南大学学报:医学版,2006 (1):147-151.
[20] 舒旷怡,张颖,杨锦红,等.LBP 对 LPS 刺激巨噬细胞分泌细胞因子的调节作用[J].解放军医学杂志, 2010,35(8):44-48.
[21] 靳露.高精料日粮中添加谷氨酰胺和甘露寡糖对肉牛的营养生理效应研究[D].硕士学位论文.重庆:西南大学,2013.
[22] 常广军.脂多糖对反刍动物肝脏天然免疫反应的影响及表观遗传机理研究[D].博士学位论文.南京:南京农业大学, 2015.

[23] 李艳,吕晓峰,徐凯,等.脂多糖对奶牛乳腺上皮细胞 *IL*-6、*IL*-8 和 *TNF*-*α* mRNA 表达的影响[J].上海畜牧兽医通讯,2016,(5):12-16.

[24] 邵强,黄友解,韩月,等.酵母细胞壁的结构组成、生物学功能及在养殖业中的应用[J].浙江畜牧兽医,2017(1):13-16.

[25] 高培杰,姚建凤,黄荣富.CD64 指数降钙素原和血清淀粉样蛋白 A 在学龄前儿童早期细菌感染性腹泻中的临床应用价值[J].实用医技杂志,2017,4(24):365-368.

[26] 张世栋,董书伟,王东升,等.*SAA* 与 *HP* 在奶牛活体和离体炎性子宫内膜上皮细胞中表达的研究[J].中国兽医科学,2016(7):921-927.

[27] CHE T M,SONG M,LIU Y,et al. Mannan oligosaccharide increases serum concentrations of antibodies and inflammatory mediators in weanling pigs experimentally infected with porcine reproductive and respiratory syndrome virus[J].Journal of Animal Science-Article,2011,90(8):2784-2793.

[28] 王桂超.营养限制与补偿对蒙古羔羊生长、脂肪组织构成及血液指标的影响[D].硕士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学, 2016.

[29] 李永娟.β-葡聚糖对黄颡鱼生长性能和免疫功能的影响[D].硕士学位论文.武汉:华中农业大学,2016.

[30] 郑琛,郝正里,李发弟,等.外源添加甘露寡糖对绵羊体液免疫及抗氧化性能的影响[C]//中国畜牧兽医学会动物营养学分会第十一次全国动物营养学术研讨会.北京：中国农业科学技术出版社,2012.

[31] 刘立成,宋伟红,卫喜明,等.大豆油和莫能菌素对绵羊血液参数及脂肪酸合成的影响[J].中国畜牧杂志,2011,47(1):37-41.

Effect of Yeast Mannan Oligosaccharides on Growth Performance, Serum Immune, Inflammatory and Antioxidant Indicators of Mongolian Sheep

XIE Mingxin　WANG Hairong*　YANG Jinli　WANG Guichao　LI Jingjing　LI Changrui

(*College of Animal Science*，*Inner Mongolia Agricultural University*，*Hohhot* 010018，*China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of yeast mannan oligosaccharides on growth performance, serum immune, inflammatory and antioxidant indicators of Mongolian sheep. Eighteen Mongolian sheep with good body condition and similar body weight [（28.91±1.81）kg] were randomly allotted to three groups with six sheep per group. Sheep in control group were fed a basal diet, and those in mannan oligosaccharides group and rumensin group were fed the basal diet supplemented with 0.1% yeast mannan oligosaccharides (the supplemental level was on concentrated, the same as below) and 0.015% rumensin, respectively.

*Corresponding author, associate professor, E-mail: wanghairong97@163.com　　(责任编辑　王智航)

The duration of the experiment was 70 days (the pre-test period was 10 days and the test period was 60 days). On the 1st and 30th day, dietary concentrated to forage ratio was 4:6, while on the 31st to 60th day, it was gradually turned into 7:3. On the 1st, 30th and 60th day of test period, empty stomach body weight was tested and serum was collected to determine concentrations of immunoglobulin M (IgM), lipopolysaccharide binding protein (LBP), interleukin 6 (IL-6), serum amyloid A (SAA) and nitric oxide (NO), total antioxidant capacity (T-AOC), and the activities of total superoxide dismutase (T-SOD) and glutathione peroxidase (GSH-Px). The results showed as follows: 1) compared with control group, growth performance of Mongolian sheep (high concentrate feeding mode) was significantly increased by the addition of mannan oligosaccharides and rumensin, which showed significant increases in body weight (the 60th day) and average daily gain ($P<0.05$), and a significant decrease in feed/gain ($P<0.05$); furthermore on 1st to 30th day, stage daily gain in mannan oligosaccharides group was significantly higher than that in the other two groups ($P<0.05$), while on 31st to 60th day, rumensin group was significantly higher than control group ($P<0.05$). 2) Compared with control group, on 30th day, serum IgM concentration, LBP concentration and T-SOD activity in mannan oligosaccharides group was significantly increased ($P<0.05$); on 60th day, serum SAA concentration in mannan oligosaccharides group was significantly increased ($P<0.05$), while serum T-AOC and GSH-Px activity in mannan oligosaccharides group were significantly decreased ($P<0.05$), and serum T-AOC in rumensin group was also significantly decreased ($P<0.05$). It is concluded that addition of yeast mannan oligosaccharides can improve growth performance, serum immune and antioxidant functions of Mongolian sheep feeding high concentrate diet, and the effects are similar to rumensin; mannan oligosaccharides shows better effect when dietary concentrate to forage ratio is 4:6.

Key words: yeast mannan oligosaccharides; sheep; growth performance; immune; antioxidant